

**PEMODELAN GEOGRAPHICALLY WEIGHTED REGRESSION (GWR)
MENGUNAKAN MATRIKS PEMBOBOT *FIXED GAUSSIAN KERNEL* DAN
FIXED TRICUBE KERNEL PADA KASUS COVID-19 DI INDONESIA**

Kristina Yumiyati Kaka^{1*}, Kris Suryowati², Rokhana Dwi Bekti³

^{1,2,3}Program Studi Statistika, Fakultas Sains dan Teknologi Informasi, Universitas AKPRIND Indonesia

Email : yumikaka80@gmail.com

*corresponding author

Abstract. Covid-19 is a group of viruses that can cause disease in animals and humans. At the beginning of 2020 the world was shocked by the emergence of the Corona virus. Until now, Covid-19 has spread globally in hundreds of countries in the world, including Indonesia. Covid-19 has made losses in various sectors. This study aims to determine the factors causing the increase in Covid-19 in Indonesia in 2021 by using Geographically Weighted Regression (GWR) modeling using the Fixed Gaussian Kernel and Fixed Tricube Kernel weighting functions. The data used is secondary data sourced from the website of the Indonesian Central Bureau of Statistics in 2021. GWR is a statistical method used to deal with data that has problems with spatial effects and geographical factors. Based on the results of the analysis, the variables that have a spatial effect are obtained, namely the number of referral hospitals, the number of doctors and the number of Covid-19 cases. Factors that significantly influence the weighting of the Fixed Gaussian Kernel and Fixed Tricube Kernel are the number of referral hospitals, population density and number of doctors. The results of the comparison of the Fixed Gaussian Kernel and Fixed Tricube Kernel weighting functions show that the Fixed Gaussian Kernel weighting function is better used in modeling the number of Covid-19 cases in Indonesia in 2021 with an R^2 result of 95% and an AIC of 821,152.

Keywords: Geographicaly Weighted Regression (GWR), Fixed Gaussian Kernel and Fixed Tricube Kernel.

Abstrak. Covid-19 merupakan suatu kelompok virus yang dapat menyebabkan penyakit pada hewan dan manusia. Pada awal tahun 2020 dunia digemparkan dengan adanya kemunculan virus Corona. Hingga saat ini Covid-19 mewabah secara global pada ratusan negara di dunia termasuk Indonesia. Covid-19 telah membuat kerugian diberbagai macam sektor. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui faktor-faktor penyebab naiknya Covid-19 di Indonesia tahun 2021 dengan pemodelan *Geographically Weighted Regression* (GWR) menggunakan fungsi pembobot *Fixed Gaussian Kernel* dan *Fixed Tricube Kernel*. Data yang digunakan adalah data sekunder bersumber dari *website* Badan Pusat Statistik Indonesia tahun 2021. GWR merupakan metode statistika yang digunakan untuk mengatasi data yang memiliki permasalahan efek spasial dan faktor geografis. Berdasarkan hasil analisis diperoleh variabel-variabel yang memiliki efek spasial yaitu variabel jumlah rumah sakit rujukan, jumlah dokter dan jumlah kasus Covid-19. Faktor yang signifikan berpengaruh dengan pembobot *Fixed Gaussian Kernel* dan *Fixed Tricube Kernel* adalah jumlah rumah sakit rujukan, kepadatan penduduk dan jumlah dokter. Hasil perbandingan fungsi pembobot *Fixed Gaussian Kernel* dan *Fixed Tricube Kernel* diperoleh fungsi pembobot *Fixed Gaussian Kernel* lebih baik digunakan dalam pemodelan jumlah kasus Covid-19 di Indonesia pada tahun 2021 dengan hasil R^2 sebesar 95% dan *AIC* sebesar 821.152.

Kata Kunci: *Geographicaly Weighted Regression* (GWR), *Fixed Gaussian Kernel* dan *Fixed Tricube Kernel*.

1. Pendahuluan

Coronavirus disease merupakan suatu kelompok virus yang dapat menyebabkan penyakit pada hewan dan manusia. Awal mula penyebaran virus ini terjadi pada akhir tahun 2019 di Wuhan, Tiongkok. Covid-19 yang saat ini mewabah secara global pada ratusan negara di dunia menjadi salah satu pandemi yang paling banyak menyita perhatian termasuk di Indonesia. Kasus Covid-19 di Indonesia dari 3 Januari 2020 hingga 7 Maret 2023, telah ada 6.737.606 kasus Covid-19 yang dikonfirmasi dengan 160.934 kematian. Penyebaran Covid-19

di Indonesia dimulai dari Januari 2020 dengan penyebarannya terus meningkat dari waktu ke waktu dan mengalami peningkatan paling tinggi pada Juli tahun 2021 dengan jumlah kasus sebanyak 350.273 kasus dan Februari tahun 2022 sebanyak 389.727 kasus, akan tetapi pada tahun 2021 rentang waktu penyebaran lebih lama dibandingkan tahun 2022 yang berangsur-angsur menurun drastis hingga bulan Maret 2023. Kasus kematian tertinggi akibat Covid-19 terjadi pada bulan Juli tahun 2021 dengan jumlah 12.444 jiwa sedangkan pada tahun 2022 kasus kematian berangsur-angsur menurun secara drastis, dengan melihat peningkatan dan penurunan serta rentang waktu penyebaran yang cukup lama maka peneliti berfokus meneliti kasus Covid-19 pada tahun 2021.

Menurut (Aeni, 2021) pandemi tersebut tidak hanya memberikan dampak langsung dalam aspek kesehatan, melainkan aspek kehidupan lainnya, seperti aspek ekonomi dan sosial. Dampak pandemi Covid-19 pada aspek kesehatan adalah jumlah kasus positif dan kematian yang cukup tinggi serta penurunan cakupan sebagian besar layanan kesehatan. Dampak sosial pandemi Covid-19 adalah peningkatan kemiskinan. Oleh karena itu ada berbagai faktor yang dapat diduga sebagai penyebab naiknya kasus Covid-19 pada penelitian ini diantaranya adalah jumlah rumah sakit rujukan, kepadatan penduduk, persentase lansia yang memiliki keluhan sebulan terakhir dan jumlah dokter.

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh (Mahdi, 2020) dengan judul “Pemodelan Jumlah Kasus Covid-19 di Jawa Barat Menggunakan *Geographically Weighted Regression*” dari penelitian tersebut disimpulkan bahwa adapun faktor yang dianggap mempengaruhi penyebaran Covid-19 adalah kepadatan penduduk, persentase kemiskinan, tingkat pengangguran terbuka, persentase rumah tangga dengan sanitasi layak, dan persentase rumah tangga dengan sumber air minum layak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penyebaran Covid-19 di sebagian besar wilayah Provinsi Jawa Barat dipengaruhi oleh persentase kemiskinan. Penelitian yang dilakukan oleh (Tiara, Anisa, & D., 2021) dengan judul “Analisis Hubungan Kepadatan Penduduk dengan Pola Penyebaran Covid-19 Provinsi DKI Jakarta Menggunakan Regresi *Robust*”. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara kepadatan penduduk dengan pola penyebaran Covid-19. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa kepadatan penduduk memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kasus terkonfirmasi Covid-19 dengan koefisien determinasi sebesar 50,8%. Penelitian yang dilakukan oleh (Lutfiani, 2017) dengan judul penelitian “Pemodelan *Geographically Weighted Regression* (GWR) dengan Fungsi Pembobot *Kernel Gaussian* dan *Bi-square*” hasil penelitian menunjukkan bahwa model GWR dengan *kernel gaussian* lebih baik dari pada model GWR dengan *kernel bi-square*.

Pada penelitian ini akan dilakukan pemodelan kasus Covid-19 di Indonesia tahun 2021 menggunakan *Geographically Weighted Regression* (GWR) dengan membandingkan matriks pembobot *Fixed Gaussian Kernel* dan *Fixed Tricube Kernel* untuk mengetahui faktor-faktor yang signifikan berpengaruh terhadap kasus Covid-19. Hasil penelitian ini diharapkan dapat membantu pemerintah provinsi dalam merancang kebijakan-kebijakan yang sesuai dan lebih efektif untuk mengurangi penyebaran kasus Covid-19.

2. Metode

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) Indonesia Tahun 2021. Variabel dependen yang digunakan adalah jumlah kasus covid-19 dengan variabel independennya adalah jumlah rumah sakit rujukan, kepadatan penduduk, persentase lansia yang memiliki keluhan dalam sebulan terakhir dan jumlah dokter. Adapun langkah-langkah analisis data sebagai berikut :

- a. Mempersiapkan data yang akan dianalisis
- b. Mendeskripsikan karakteristik jumlah kasus Covid-19 di Indonesia dan faktor-faktor yang diduga mempengaruhinya pada setiap provinsi menggunakan statistika deskriptif serta peta tematik.

- c. Melakukan analisis regresi linear berganda dengan langkah seperti dibawah ini :
- 1) Melakukan estimasi parameter model regresi linear berganda, dengan bentuk umum persamaan regresi linear berganda sebagai berikut :

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki} + \varepsilon_i \quad (1)$$

Dengan $i = 1, 2, 3, \dots, n$

Keterangan :

i : 1, 2, 3, ..., n (banyak observasi populasi)

Y_i : variabel dependen ke- i : 1, 2, 3, ..., n

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$: Koefisien parameter regresi

X_{1i} : variabel bebas atau independent ke-1 pada pengamatan ke- i

ε_i : kesalahan atau *error* pengamatan ke- i

k : Banyaknya variabel prediktor ataupun estimasi parameter

- 2) Melakukan uji asumsi klasik diantaranya sebagai berikut :
 - Uji normalitas menggunakan *Kolmogorov-Smirnov*
 - Uji heteroskedastisitas menggunakan metode *Glejser*
 - Uji autokorelasi menggunakan metode *Durbin-Watson*
 - Uji multikolinearitas menggunakan nilai *Variance Inflation Factor* (VIF)
- 3) Melakukan uji signifikansi parameter model regresi linear berganda dengan uji F untuk mengetahui pengaruh variabel independen secara bersama-sama terhadap variabel dependen, uji t untuk mengetahui pengaruh masing-masing variabel independen terhadap variabel dependen, dan uji determinasi atau R² untuk mengetahui kemampuan model dalam menerangkan variasi variabel dependen.

- d. Melakukan uji efek spasial

Uji efek spasial dilakukan dengan

- 1) Dependensi spasial menggunakan Morans'I dengan rumus :

$$Z(I) = \frac{I - E(I)}{\sqrt{Var(I)}} \sim N(0,1) \quad (2)$$

Keterangan :

I : Indeks Moran's I

$Zhitung$: Nilai statistik uji indeks Moran's I

$E(I)$: Nilai ekspektasi uji indeks Moran's I

$Var(I)$: Nilai varians dan indeks Moran's I

- 2) Heterogenitas spasial

dengan rumus :

$$BP = \left(\frac{1}{2}\right) f^T Z (Z^T Z)^{-1} Z^T f \sim X^2_{(p)} \quad (3)$$

Dengan elemen vektor f adalah $f_1 = \frac{e_i^2}{\sigma^2} - 1$, $e_i = y_i - \hat{y}_i$ merupakan residual *least square* untuk observasi ke- i dan Z merupakan matriks berukuran $n \times (p + 1)$ yang berisi vector yang sudah di normal standarkan untuk tiap observasi

- e. Jika asumsi-asumsi sudah terpenuhi, selanjutnya dilakukan analisis GWR dengan bentuk umum persamaan sebagai berikut :

$$\hat{\beta}(u_i, v_i) = (X^T W(u_i, v_i) X)^{-1} X^T W(u_i, v_i) Y \quad (4)$$

Menentukan *longitude* (u_i) dan *latitude* (v_i) setiap provinsi di Indonesia.

- f. Menghitung jarak antar lokasi pengamatan dengan rumus :

$$d_{ij} = \sqrt{(u_i - u_j)^2 + (v_i - v_j)^2} \quad (5)$$

Keterangan :

d_{ij} : Jarak Euclidean antara titik lokasi- i terhadap titik lokasi pengamatan ke- j

u : Latitude

v : Longitude

- g. Menentukan pembobot model dengan dengan pembobot *Fixed Gaussian Kernel* dan *Fixed Tricube Kernel*

- 1) *Fixed Gaussian Kernel*

Fungsi *Fixed Gaussian Kernel* akan memberi bobot yang akan semakin menurun mengikuti fungsi *Gaussian* ketika d_{ij} semakin besar.

Bentuk fungsi *Fixed Gaussian Kernel* adalah sebagai berikut:

$$w_j(u_i, v_i) = \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{d_{ij}}{b}\right)^2\right] \quad (6)$$

Keterangan:

b : nilai *bandwidth*

- 2) *Fixed Tricube Kernel*

Fungsi pembobot *Tricube* dapat dinotasikan sebagai berikut :

$$w_j(u_i, v_i) = \begin{cases} [1 - (d_{ij}/b)^3]^3, & \text{jika } d_{ij} < b \\ 0, & \text{jika } d_{ij} \geq b \end{cases} \quad (7)$$

Fungsi pembobot *Tricube* akan memberi bobot nol ketika lokasi j berada pada atau diluar radius b dari lokasi i , sedangkan apabila lokasi j berada didalam radius b maka akan mendapat bobot yang mengikuti fungsi *Tricube*.

- h. Menentukan *bandwidth* optimum dengan melihat nilai *Cross Validation* (CV) yang minimum dengan menggunakan rumus:

$$CV = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_{\neq i}(b))^2 \quad (8)$$

Dengan $\hat{y}_{\neq i}(b)$ adalah nilai prediksi y_i (*fitting value*) dengan pengamatan di lokasi i dihilangkan dari proses prediksi

- i. Menentukan estimasi parameter model GWR dengan rumus:

$$\hat{\beta}(i) = (X^T W(i) X)^{-1} X^T W(i) Y \quad (9)$$

Keterangan:

$\hat{\beta}$: $(\hat{\beta}_{i,0}, \hat{\beta}_{i,1}, \dots, \hat{\beta}_{i,k})$ adalah koefisien regresi lokal pada lokasi t

X : Matriks variabel independent berukuran $(p + 1) \times 1$

Y : Vektor variabel dependen dengan ukuran $(n \times 1)$

$W_{(i)}$: bobot lokasi ke- i dengan ukuran $(n \times n)$

- j. Melakukan pengujian signifikansi parameter model GWR untuk mengetahui variabel independen yang berpengaruh terhadap variabel dependen dengan menggunakan rumus:

$$T = \frac{\hat{\beta}_k(u_i, v_i)}{\hat{\sigma} \sqrt{g_{kk}}} \quad (10)$$

Matriks varian didapatkan dari kovarian $G G^T \sigma^2$ dengan g_{kk} adalah elemen diagonal ke- k dari matriks $G G^T$ dimana $G = (X^T W(u_i, v_j) X)^{-1} X^T W(u_i, v_i)$.

k. Melihat kebaikan model dari nilai *Akaike Information Criterion* (AIC) dan *Koefisien determinasi* (R^2).

1) *Koefisien determinasi* (R^2)

Persamaan koefisien determinasi lokal adalah sebagai berikut:

$$R_i^2 = \frac{JKT_{GWR} - JKS_{GWR}}{JKT_{GWR}} \quad (11)$$

2) *Akaike Information Criterion* (AIC)

Penentuan AIC dilakukan dengan nilai AIC terkecil, dengan rumus :

$$AIC = 2n \ln(\hat{\sigma}) + n \ln(2\pi) + n + \text{tr}(L) \quad (12)$$

Keterangan :

$\hat{\sigma}$: nilai estimator standar deviasi dari error hasil estimasi maksimum *likelihood*, yaitu $\hat{\sigma} = \text{akar dari } \hat{\sigma}^2 = \frac{JKS}{n} = \frac{Y^T(I-L)^T(I-L)Y}{n}$

L : Matriks proyeksi dimana $\hat{y} = Ly$

3. Hasil dan Pembahasan

a. Gambaran dan Karakteristik Covid-19 di Inodonesia

Berdasarkan data BPS tahun 2021, dari 34 provinsi yang ada di Indonesia diketahui bahwa kasus Covid-19 tertinggi di Indonesia berada di provinsi DKI Jakarta yaitu sebanyak 865.297 kasus dan kasus paling rendah berada di provinsi Gorontalo yaitu sebanyak 11.849 kasus. Rata-rata jumlah kasus Covid-19 di Indonesia adalah sebesar 125.373 dan nilai standar deviasi atau simpangan baku sebesar 196810,1.

b. Regresi Linear Berganda

1) Estimasi Model Regresi Linear Berganda

$$\hat{Y} = -18372,98 + 15478,07X_1 + 42,01X_2 - 102,06X_3 + 13,62X_4$$

2) Uji Asumsi klasik

- Uji normalitas

Tabel 3.1 Uji Normalitas

Keterangan	Nilai
D	0,219
$P - Value$	0,064
D_{tabel}	0,227

Berdasarkan Tabel 3.1 diperoleh $D_{\text{hitung}} > D_{\text{tabel}}$ dan $P - Value > \alpha$ disimpulkan bahwa residual berdistribusi normal

- Uji heteroskedastisitas

Tabel 3.2 Uji Heteroskedastisitas

Keterangan	Nilai
F	33,8
$P - Value$	$1,56 \times 10^{-10}$

Berdasarkan Tabel 3.2 $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}} = 2,70$ dan $P - Value < \alpha$, disimpulkan bahwa terjadi heteroskedastisitas.

- Uji autokorelasi

Tabel 3.3 Uji Autokorelasi

Keterangan	Nilai
DW	1,581
$P - Value$	0,224
dL	1,207
dU	1,727

Berdasarkan Tabel 3.3, nilai $dL > DW > dU$ sehingga dapat disimpulkan bahwa terjadi autokorelasi

- Uji mujltikolinearitas

Tabel 3.4 Uji Multikolinearitas

Variabel	VIF
X_1	1,582
X_2	1,131
X_3	1,011
X_4	1,450

Berdasarkan Tabel 3.4, VIF semua variabel bebas < 10 disimpulkan bahwa tidak terjadi multikolinearitas

- 3) Uji kebaikan model regresi

- Uji F

Tabel 3.5 Uji F

Keterangan	Nilai
F_{hitung}	54,09
F_{tabel}	2,70

Berdasarkan Tabel 3.5, $F_{hitung} > F_{tabel}$ disimpulkan bahwa setidaknya ada satu variabel independen yang memiliki pengaruh terhadap kasus Covid-19.

- Uji t

Tabel 3.6 Uji t

Variabel	t_{hitung}	t_{tabel}	Kriteria
X_1	2,820	2,045	H_0 ditolak
X_2	8,554	2,045	H_0 ditolak
X_3	-0,055	2,045	H_0 tidak ditolak
X_4	5,747	2,045	H_0 ditolak

Berdasarkan Tabel 3.6 variabel X_1 , X_2 dan X_4 berpengaruh secara signifikan terhadap jumlah kasus Covid-19.

- c. Uji Efek Spasial

Uji efek spasial digunakan untuk melihat adanya aspek kewilayaan pada data yang akan diuji

- 1) Dependensi Spasial

Tabel 3.7 Uji Dependensi Spasial

Variabel	Moran's (I)	$E(I)$	$ Z_{hitung} $	$P - Value$	Keputusan
Y	0,686	-0,037	4,068	$4,27 \times 10^{-8}$	Terdapat efek spasial
X_1	0,416	-0,037	2,6248	0,008	Terdapat efek spasial
X_2	0,105	-0,037	NaN	NA	Tidak ada kesimpulan
X_3	0,132	-0,037	0,964	0,334	Tidak ada efek spasial
X_4	0,268	-0,037	2,217	0,026	Terdapat efek spasial

Berdasarkan Tabel 3.7 diketahui bahwa nilai $|Z_{hitung}|$ variabel X_1 (rumah sakit rujukan)=2,6248, X_4 (jumlah dokter) = 2,217 dan Y (jumlah kasus Covid-19) = 4,068 $> Z_{\alpha/2} = 1,96$ maka dapat disimpulkan bahwa terdapat autokorelasi spasial pada variabel jumlah rumah sakit rujukan, jumlah dokter dan jumlah kasus Covid-19.

- 2) Heterogenitas Spasial

Tabel 3.8 Uji Heterogenitas Spasial

Keterangan	Nilai
<i>BP</i>	26,472
<i>P – Value</i>	$2,542 \times 10^{-8}$
$X^2_{0,05;(4)}$	9,487

Berdasarkan Tabel 3.8 $BP > X^2_{0,05;(4)}$ maka dapat disimpulkan ada heterogenitas spasial.

d. Analisis *Geographically Weighted Regression (GWR)*

- 1) Nilai *Longitude* dan *Latitude*

Nilai longitude dan latitude merupakan nilai koordinat geografis dari masing-masing provinsi di Indonesia (telah tersedia pada peta)

- 2) Jarak Euclidean

Masing-masing jarak Euclidean berbentuk matriks berukuran 34 x 34

- 3) Nilai *Bandwidth* Optimum.

Penentuan *bandwidth* optimum dilakukan dengan melihat nilai *cross validation* (CV) terkecil. Diperoleh nilai *bandwidth* optimum pada model GWR untuk fungsi pembobot *Fixed Gaussian Kernel* sebesar 3,042785 dengan CV terkecil bernilai 630554474086 dan nilai *bandwidth* optimum model GWR untuk pembobot *Fixed Tricube Kernel* sebesar 43,176194 dengan nilai CV terkecil sebesar 1.49136×10^{12} .

- 4) Matriks pembobot *Fixed Gaussian Kernel* dan *Fixed Tricube Kernel*

Nilai matriks pembobot untuk masing-masing kabupaten/kota berbeda-beda sehingga pada penelitian ini ada 34 matriks pembobot untuk jarak Euclidean. Contoh matriks pembobot untuk salah satu provinsi yaitu provinsi Aceh sebagai berikut:

Matriks Pembobot *Fixed Gaussian Kernel* yang terbentuk sebagai berikut :

$$W_{Aceh} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 3.90 \times 10^{-14} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 3.95 \times 10^{-6} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.001294 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0.606671 \end{bmatrix}$$

Matriks Pembobot *Fixed Tricube Kernel* yang terbentuk sebagai berikut :

$$W_{Aceh} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0.586142 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0.879992 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.951877 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0.998993 \end{bmatrix}$$

e. Estimasi Parameter Model GWR

- 1) Pembobot *Fixed Gaussian Kernel*

Nilai estimasi parameter model GWR pembobot *Fixed Gaussian Kernel* untuk setiap provinsi di Indonesia berbeda-beda. Estimator model lokal untuk provinsi Aceh adalah :

$$\hat{Y}_{Aceh} = 414671,04 + 1860,13X_1 - 181,70X_2 - 7572,79X_3 + 1,35X_4$$

Nilai estimasi parameter model GWR untuk setiap provinsi di Indonesia berbeda-beda. Nilai minimum estimasi parameter untuk *intercept* sebesar

-3439,27 dan nilai maksimum estimasi sebesar 414664. Sedangkan nilai minimum estimasi parameter untuk rumah sakit rujukan (X_1) sebesar 1860,381 dan nilai maksimum sebesar 18448,24. Nilai minimum kepadatan penduduk (X_2) sebesar -181,623 dan maksimum sebesar 42,95228. Nilai minimum estimasi persentase lansia yang memiliki keluhan dalam sebulan terakhir (X_3) sebesar -7572,73 dan maksimum sebesar 197,6471. Nilai minimum estimasi jumlah dokter (X_4) sebesar 1,356168 dan maksimum 14,93087.

2) Pembobot *Fixed Gaussian Kernel*

Hasil estimasi parameter GWR dengan pembobot *Fixed Tricube Kernel* tiap provinsi memiliki model GWR yang berbeda-beda. Salah satu contoh provinsi Aceh. Estimator model lokal untuk provinsi Aceh adalah:

$$\hat{Y}_{Aceh} = -13176.73 + 14445.73X_1 + 42.09X_2 - 177.24X_3 + 14,20X_4$$

Nilai minimum estimasi parameter untuk *intercept* sebesar -19944,4 dan nilai maksimum sebesar -3155,8. Sedangkan nilai minimum estimasi parameter untuk rumah sakit rujukan (X_1) sebesar 14542,21 dan nilai maksimum sebesar 19532,21. Kedua nilai ini mengindikasikan bahwa provinsi lainnya mempunyai nilai estimasi parameter yang positif. Nilai minimum estimasi kepadatan penduduk (X_2) sebesar 41.4894 dan nilai maksimum sebesar 42,0488. Nilai minimum estimasi persentase lansia yang memiliki keluhan dalam sebulan terakhir (X_3) sebesar -249.086 dan maksimum sebesar -34,8671. Nilai minimum estimasi jumlah dokter (X_4) sebesar 11,40243 dan maksimum 14,19883.

f. Uji Signifikansi Parameter Model GWR

1) Uji Signifikansi Model GWR menggunakan Pembobot *Fixed Gaussian Kernel*

Dengan menggunakan taraf signifikansi 5% diketahui :

- Variabel yang berpengaruh adalah Variabel rumah sakit rujukan signifikan berpengaruh terhadap jumlah kasus Covid-19 (Y) pada 9 provinsi di Indonesia. Provinsi-provinsi tersebut adalah Kalimantan Barat, Kalimantan Tengah, Kalimantan Selatan, Jawa Barat, Jawa Tengah, Daerah Istimewa Yogyakarta, Bali dan Nusa Tenggara Barat. Namun variabel jumlah rumah sakit rujukan tidak signifikan berpengaruh terhadap jumlah kasus Covid-19 pada 25 provinsi lainnya.
- Variabel kepadatan penduduk (X_2). Variabel kepadatan penduduk signifikan berpengaruh terhadap jumlah kasus Covid-19 (Y) pada 20 provinsi di Indonesia. Provinsi-provinsi tersebut adalah Sumatera Utara, Sumatera Barat, Riau, Jambi, Bengkulu, Sumatera Selatan, Kepulauan Bangka Belitung Lampung, Banten, DKI Jakarta, Jawa Barat, Jawa Tengah, Daerah Istimewa Yogyakarta, Jawa Timur, Bali, Kepulauan Riau, Kalimantan Barat, Kalimantan Tengah, Kalimantan Timur dan Kalimantan Selatan. Namun variabel kepadatan penduduk tidak signifikan berpengaruh terhadap jumlah kasus Covid-19 pada 14 provinsi lainnya.
- variabel jumlah dokter (X_2). Variabel jumlah dokter signifikan berpengaruh terhadap Jumlah kasus Covid-19 (Y) pada 18 provinsi di Indonesia. Provinsi-provinsi tersebut adalah Kepulauan Riau, Kalimantan Barat, Kalimantan Tengah, Kalimantan Selatan, Jambi, Bengkulu, Sumatera Selatan, Lampung, Kepulauan Bangka Belitung, Banten, DKI Jakarta, Jawa Barat, Daerah Istimewa Yogyakarta, Jawa

Timur, Bali, Nusa Tenggara Barat dan Nusa Tenggara Timur. Namun variabel jumlah dokter tidak signifikan berpengaruh terhadap jumlah kasus Covid-19 pada 16 provinsi lainnya.

- 2) Uji Signifikansi Model GWR menggunakan Pembobot *Fixed Tricube Kernel* Dengan menggunakan taraf signifikansi 5% diketahui variabel rumah sakit rujukan (X_1) kepadatan penduduk (X_2) dan jumlah dokter (X_4), digambarkan bahwa pemetaan dibagi menjadi dua warna yaitu warna hijau dan warna putih dimana warna hijau menyatakan signifikan dan warna putih menyatakan tidak signifikan pada taraf signifikansi 5%. Pada peta (a), (b) dan (c) diperoleh sebaran nilai signifikansi berwarna hijau pada semua provinsi sehingga dapat disimpulkan bahwa variabel rumah sakit rujukan X_1 kepadatan penduduk (X_2) dan jumlah dokter (X_4) signifikan berpengaruh pada semua provinsi yang ada di Indonesia.

g. Pemilihan Model Terbaik

Pemilihan model terbaik dilakukan dengan melihat nilai dari Koefisien determinasi dan AIC. Berdasarkan hasil analisis diperoleh nilai koefisien determinasi dan AIC sebagai berikut :

Tabel 3.9 Nilai R^2 dan AIC

Model	R^2	AIC
<i>Fixed Gaussian Kernel</i>	0.627528 – 0.998511	821.152
<i>Fixed Tricube Kernel</i>	0.878370 – 0.885135	857.310

Berdasarkan Tabel 3.9 dapat diketahui bahwa nilai R^2 yang lebih besar yaitu yang dihasilkan model GWR dengan *Fixed Gaussian Kernel* sebesar 99,85% dibandingkan dengan model *Fixed Tricube Kernel* sebesar 88,51%. Untuk nilai AIC yang dihasilkan oleh model GWR dengan *Fixed Gaussian Kernel* sebesar 821.152 lebih kecil dibandingkan dengan model *Fixed Tricube Kernel* sebesar 857.310. Sehingga dapat disimpulkan bahwa model GWR dengan fungsi pembobot *Fixed Gaussian Kernel* lebih baik digunakan untuk membentuk pemodelan jumlah kasus Covid-19 di Indonesia tahun 2021.

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan kasus penelitian kasus Covid-19 di Indonesia tahun 2021, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Jumlah kasus Covid-19 tertinggi di Indonesia pada tahun 2021 berada di provinsi D.K.I Jakarta yaitu sebesar 865.297 kasus dan jumlah kasus Covid-19 paling rendah di provinsi Gorontalo yaitu sebesar 11.849 rata-rata jumlah kasus Covid-19 di Indonesia sebesar 125.373. Hasil pengujian efek spasial (*Moran's I*) yaitu terdapat autokorelasi spasial pada variabel rumah sakit rujukan X_1 dan jumlah dokter X_4 sedangkan variabel lainnya tidak terdapat autokorelasi positif. Berdasarkan uji heterogenitas spasial (*Breusch Pagan*) diperoleh hasil bahwa terdapat heterogenitas spasial.
- Matriks pembobot GWR yang terbentuk pada pembobot *Fixed Gaussian Kernel* dan *Fixed Tricube Kernel* sebagai berikut:
 - Pembobot *Fixed Gaussian Kernel*

Bentuk Fungsi *Fixed Gaussian Kernel* dapat ditulis seperti berikut:

$$w_j(u_i, v_i) = \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{d_{ij}}{3,042785}\right)^2\right]$$

Dengan menggunakan fungsi di atas diperoleh matriks pembobot yang terbentuk adalah 34 pembobot, masing-masing mempunyai pembobot yang berukuran 34×34 dan nilai yang berbeda-beda.

2) Pembobot *Fixed Tricube Kernel*

Bentuk fungsi pembobot Fixed Gaussian Kernel sebagai berikut:

$$W_j(u_i, v_i) = \begin{cases} [1 - (d_{ij}/43,176194)^3]^3, & \text{jika } d_{ij} < 43,176194 \\ 0, & \text{jika } d_{ij} \geq 43,176194 \end{cases}$$

Fungsi pembobot Tricube akan memberi bobot nol ketika lokasi j berada pada atau diluar radius $b = 43,176194$ dari lokasi i , sedangkan apabila lokasi j berada di dalam radius $b = 43,176194$ maka akan mendapat bobot yang mengikuti fungsi Tricube. Dengan menggunakan fungsi di atas diperoleh matriks pembobot yang terbentuk adalah 34 pembobot, masing-masing mempunyai pembobot yang berukuran 34×34 dan nilai yang berbeda-beda.

c. Estimasi model GWR yang diperoleh adalah sebagai berikut :

1) Estimasi menggunakan matriks pembobot *Fixed Gaussian Kernel*

Estimasi parameter GWR menggunakan matriks pembobot *Fixed Gaussian Kernel* diperoleh hasil bahwa estimasi parameter pada setiap lokasi berbeda-beda. Nilai minimum estimasi untuk *intercept* sebesar -264249 dan nilai maksimum estimasi sebesar $315447,6$. Sedangkan nilai minimum estimasi parameter untuk rumah sakit rujukan (X_1) sebesar $-12637,2$ dan nilai maksimum sebesar $0,01012$. Nilai minimum estimasi kepadatan penduduk (X_2) sebesar $-12637,2$ dan maksimum sebesar $59,90092$. Nilai minimum estimasi persentase lansia yang memiliki keluhan dalam sebulan terakhir (X_3) sebesar $-5810,56$ dan maksimum sebesar $4894,996$. Nilai minimum estimasi jumlah dokter (X_4) sebesar $-4,89946$ dan maksimum $26,99346$. Nilai estimasi parameter minimum yaitu negatif dan maksimum yaitu positif. Hal ini pada ke empat variabel tersebut memiliki pola pengaruh yang berbeda-beda terhadap jumlah kasus Covid-19 di setiap lokasi.

2) Estimasi menggunakan matriks pembobot dengan *Fixed Tricube Kernel*

Hasil estimasi dengan matriks pembobot *Fixed Gaussian Kernel* diperoleh hasil estimasi parameter setiap lokasi berbeda-beda Nilai minimum estimasi parameter untuk *intercept* sebesar $-19944,48$ dan nilai maksimum sebesar $-3155,8$. Sedangkan nilai minimum estimasi parameter untuk rumah sakit rujukan (X_1) sebesar $14542,21$ dan nilai maksimum sebesar $19532,21$. Nilai minimum estimasi kepadatan penduduk (X_2) sebesar $41,4894$ dan nilai maksimum sebesar $42,0488$. Nilai minimum estimasi persentase Lansia yang memiliki keluhan dalam sebulan terakhir (X_3) sebesar $-249,086$ dan maksimum sebesar $-34,8671$. Nilai minimum estimasi jumlah dokter (X_4) sebesar $11,40243$ dan maksimum $14,19883$. Nilai minimum dan maksimum estimasi parameter pada variabel rumah sakit rujukan (X_1), kepadatan penduduk (X_2) dan jumlah dokter (X_4) yaitu positif sedangkan nilai minimum dan maksimum pada variabel persentase Lansia yang memiliki keluhan dalam sebulan terakhir (X_3) bernilai negatif. Hal ini menunjukkan bahwa pada variabel-variabel tersebut memiliki pola pengaruh yang sama terhadap jumlah kasus Covid-19

- d. Hasil uji signifikansi parameter model GWR pembobot *Fixed Gaussian Kernel* dengan taraf signifikansi 5% diperoleh variabel rumah sakit rujukan (X_1) signifikan berpengaruh terhadap 9 provinsi di Indonesia, variabel kepadatan penduduk (X_2) signifikan berpengaruh terhadap 20 provinsi di Indonesia dan jumlah dokter (X_4) signifikan berpengaruh terhadap 18 provinsi di Indonesia. Sedangkan hasil uji signifikansi parameter model GWR pembobot *Fixed Tricube Kernel* dengan taraf signifikansi 5% diperoleh bahwa variabel rumah sakit rujukan (X_1), kepadatan penduduk (X_2) dan jumlah dokter (X_4) signifikan berpengaruh terhadap semua provinsi yang ada di Indonesia.
- e. Dari hasil perbandingan R^2 dan AIC diperoleh bahwa model GWR dengan fungsi pembobot *Fixed Gaussian Kernel* adalah yang terbaik dengan nilai R^2 sebesar 99,85% dan AIC sebesar 821.152.

Ucapan Terima Kasih (11pt, bold)

Penyusunan tulisan ini terdapat banyak pihak yang memberi dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih terkhususnya kepada dosen pembimbing yang senantiasa memberikan dukungan dan arahan hingga bisa terselesaikan dengan baik.

Daftar Pustaka

- Aeni, N. (2021). Pandemi COVID-19: Dampak Kesehatan, Ekonomi, dan Sosial. *Jurnal Litbang*, 17-34.
- Lutfiani, N. (2017). *Pemodelan Geographically Weighted Regression (GWR) dengan Fungsi Pembobot Kernel Gaussian dan Bi-square*. Jurusan Ekonomi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan, Universitas Negeri Semarang: Skripsi (Tidak diterbitkan).
- Mahdi, I. F. (2020). Pemodelan Jumlah Kasus Covid-19 Di Jawa Barat Menggunakan Geographically Weighted Regression. *Seminar official statistics* (hal. 138-145). Jawa Timur: Departemen Statistika Universitas Padjajaran.
- Tiara, E. S., Anisa, R., & D., N. M. (2021). Analisis Hubungan Kepadatan Penduduk dengan Pola Penyebaran COVID-19 Provinsi DKI Jakarta menggunakan Regresi Robust. *Journal of Applied Mathematics*, 51-60.